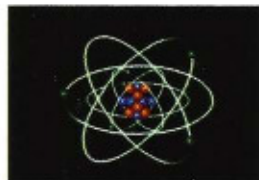




# Les éléments chimiques

### UN ENSEMBLE D'ATOMES



La matière (solide, liquide, gaz) qui constitue notre environnement est un assemblage plus ou moins complexe d'atomes. Le terme d'atome signifie à l'origine « qui ne peut se couper » (*atomos*, « couper, diviser »). Ce terme subsiste bien que nous sachions que les atomes sont eux-mêmes composés de particules. Les éléments chimiques désignent les noms donnés aux différents atomes, en fonction de leur constitution à ce niveau plus élémentaire.

### LES ATOMES ET LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

#### L'ATOME

L'atome est constitué d'un noyau central et d'un nuage d'électrons, aussi appelé « cortège électronique ». Le noyau constitue pratiquement toute la masse de l'atome : la masse des électrons est négligeable.

#### Noyau atomique

Le noyau de l'atome est formé lui-même de particules appelées les nucléons. Il existe deux sortes de nucléons :



• Les protons : découverts en 1910 par **Rutherford**, ils sont chargés positivement d'une charge élémentaire (valeur absolue de la charge de l'électron).

• Les neutrons : découverts en 1932 par Chadwick, ils sont neutres électriquement.

Les nucléons sont constitués de particules élémentaires appelées gluons et quarks. Le numéro atomique et le nombre de masse sont des caractéristiques propres à chaque élément chimique. Le numéro atomique, c'est-à-dire le nombre de protons que contient un noyau, est noté  $Z$  ; le nombre de nucléons (protons et neutrons) étant le nombre de masse, noté  $A$ .

#### Le nuage d'électrons

L'échelle microscopique est régie par la mécanique quantique : elle définit

les états des électrons, c'est-à-dire leur énergie. Autour du noyau, les états sont limités et définis par des états d'énergie différents et quantifiés.

Les électrons appartiennent à diverses couches caractérisées par une énergie. La première couche correspond à l'énergie d'attraction la plus forte. Elle est la première à se remplir. Elle ne peut accueillir que deux électrons, un troisième devant alors se placer dans la couche suivante, moins attractive et plus vaste. Il est impossible de déterminer exactement la position et la vitesse des électrons d'un atome. Ils forment un ensemble appelé « nuage d'électrons » ou « cortège électronique ». Les formulations mathématiques issues de la physique quantique ne conduisent pas à une trajectoire précise de l'électron, mais à des probabilités de présence. La nature même des électrons ne permet pas de connaître les positions précises qu'ils occupent autour du noyau. Cependant, le nombre d'électrons ainsi que leur distance moyenne au noyau jouent un rôle important dans les comportements chimiques de la matière : ce sont eux qui confèrent aux atomes leurs propriétés physico-chimiques.

#### L'ÉLÉMENT CHIMIQUE

Un élément chimique regroupe l'ensemble des atomes possédant le même nombre de protons (nombre de charges  $Z$ ). Le nombre de protons déterminant directement le cortège électronique, il entraîne donc indirectement le comportement chimique et les propriétés d'un élément. Les atomes appartenant à un même élément chimique possèdent donc un cortège électronique équivalent et des propriétés chimiques extrêmement proches.

#### Les nucléides

On donne le nom de nucléide à une espèce de noyau identifiée par son nombre de masse  $A$  et son nombre de charges  $Z$ .

#### Les isotopes

À un même élément chimique peuvent correspondre plusieurs nucléides appelés isotopes. Les isotopes sont des atomes d'un élément chimique possédant un nombre différent de neutrons. Ils possèdent donc un même numéro atomique mais diffèrent par leur nombre de masse. Ainsi, on définit l'abondance naturelle comme étant le pourcentage en masse de chacun des isotopes dans le mélange naturel d'un élément. Ce pourcentage est relativement constant. Les isotopes d'un élément

ont sensiblement les mêmes propriétés que l'élément lui-même. Par exemple l'hydrogène possède deux isotopes : le deutérium et le tritium. Ils possèdent tous les trois un proton et leur cortège électronique ne possède donc qu'un électron. Leurs propriétés chimiques sont les mêmes, leurs masses différentes. Seules changent finalement leurs propriétés nucléaires : l'ajout de neutrons dans le noyau en modifie la composition, donc l'équilibre et finalement la stabilité.

#### LES DIFFÉRENTES FORMES D'ASSEMBLAGES MOLÉCULAIRES

Les atomes des éléments chimiques peuvent se combiner de différentes façons : ils peuvent se présenter seuls ou bien liés sous forme d'une molécule. Celle-ci peut être composée soit de l'assemblage d'un même élément, comme dans un solide cristallin, soit de différents éléments chimiques. Enfin on peut les retrouver sous une forme moins organisée dans des composés chimiques, comme par exemple les alliages métalliques.

### LA STABILITÉ DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

La majorité des noyaux naturels sont stables, leurs isotopes instables ayant progressivement disparu. Les seuls noyaux instables présents à l'état naturel possèdent une durée de vie de l'ordre de plusieurs milliards d'années ou bien sont générés en continu par un phénomène naturel, comme le rayonnement cosmique pour le carbone 14.

#### LA STABILITÉ DU NOYAU

Le noyau est formé de protons et de neutrons. Seuls les protons sont chargés positivement. Les répulsions électrostatiques entre les protons devraient interdire la cohésion du noyau. Ainsi, pour expliquer la stabilité du noyau, on admet l'existence d'un autre type d'interaction que l'interaction électrostatique, de plus courte portée et qui l'emporte à courte distance : elle est appelée l'interaction forte. Celle-ci est attractive et agit à l'échelle des quarks (constituants des nucléons). Ainsi, la stabilité d'un noyau résulte de la compétition entre la force d'attraction (interaction forte) et la force de répulsion (forces répulsives entre protons). Les noyaux dits instables subissent eux des transformations qui conduisent à un état plus stable. Ces transformations s'opèrent naturellement et permettent aux

### LES COUCHES OU ORBITALES ÉLECTRONIQUES

Une orbitale électronique représente une région autour du noyau où la probabilité de trouver un électron est très élevée. La position de l'électron ne peut pas être décrite par une orbite, comme celle d'une planète autour du Soleil. La mécanique quantique permet de calculer la probabilité de présence de l'électron dans les différentes régions de l'espace. Le remplissage des orbitales se fait selon des règles de mécanique quantique (règle de Klechowski, règle de Hund, principe d'exclusion de Pauli). Les premières orbitales appelées  $s$ ,  $p$  et  $d$  peuvent contenir 2, 6 et 10 électrons. Selon un principe de stabilité de la

mécanique quantique, les électrons se placent le plus près possible du noyau ce qui correspond aux orbitales de plus basses énergies. Lorsque le remplissage des orbitales suit cette règle, l'atome est dit dans son état fondamental, sa stabilité est maximale.

Tout atome tend ainsi à remplir sa couche externe afin d'être le plus stable possible. Les couches externes incomplètes, c'est-à-dire là où certaines orbitales sont encore libres, sont les couches les moins stables : les électrons qui y sont présents sont les plus disponibles pour des interactions extérieures (liaison avec d'autres atomes, etc.).

éléments instables d'évoluer vers un état stable par désintégrations spontanées des nucléons du noyau.

#### Les différents types de désintégrations

Les causes principales de l'instabilité d'un noyau peuvent être, soit un nombre trop grand de nucléons soit un déséquilibre entre charges positives et neutres dans le noyau. Ainsi, pour évoluer vers un état stable, ces noyaux émettent un rayonnement suite à des désintégrations subies par les nucléons. Ces désintégrations peuvent être de 3 types :

- Désintégration  $\alpha$  : le noyau éjecte une particule  $\alpha$ , c'est-à-dire un noyau d'hélium. Le nombre de masse diminue de quatre unités, le nombre de charge diminue de 2 unités. Ex. : le radium 226 qui devient radon 222.
- Désintégration  $\beta^-$  : le noyau éjecte un électron. Le nombre de charge augmente d'une unité. Lors de cette réaction, un neutron du noyau se désintègre en un proton, un électron et un anti-neutrino. Ex. : le tritium qui devient un hélium.
- Désintégration  $\beta^+$  : le noyau éjecte un positon. Le nombre de charge

diminue d'une unité. Lors de cette réaction un proton se désintègre en un neutron, un positon et un neutrino. Ex. : le fluor devient un oxygène.

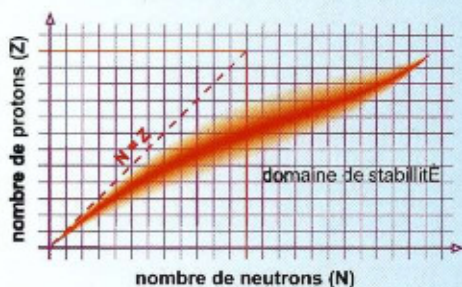
#### Répercussions des désintégrations

À la suite de désintégrations dans le noyau, l'atome subit aussi des changements en périphérie : l'équilibre électromagnétique rompu par une désintégration conduit à un rééquilibrage dans le cortège électronique, soit par l'expulsion d'un électron, soit par la capture d'un électron extérieur à l'atome.

#### Le graphique de stabilité

On reporte couramment sur un diagramme la position des noyaux stables et radioactifs : sur l'axe des abscisses figure le nombre de neutrons, sur l'axe des ordonnées figure le nombre de protons. En indiquant la masse du noyau rapportée à sa taille – rapport constituant un indice de stabilité du noyau –, on constate une répartition remarquable des éléments chimiques dans une « vallée de stabilité ». Les noyaux stables se répartissent au fond de cette vallée.

### Le diagramme de stabilité des noyaux



### Chiffres élémentaires

112

Nombre d'éléments chimiques actuellement connus.

93

Nombre d'éléments chimiques naturels dans le cosmos (dont 91 sur terre).

19

Nombre d'éléments chimiques artificiels.

1869

Mendeleïev établit la classification périodique des éléments.

1910

Découverte des protons par Rutherford.

1932

Découverte des neutrons par Chadwick.

#### L'hydrogène

1  
1  
1  
gramme par mole

L'élément chimique le plus léger

#### L'uranium



238  
grammes par mole

L'élément chimique le plus lourd

# La classification périodique de Mendeleïev

Période	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII				
1	H																		He			
2	Li	Be														B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg												Al	Si	P	S	Cl	Ar			
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
7	Fr	Ra	Ac	Ku	Ha																	
				Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
				Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw					

Hydrogène, Métaux vrais, Métaux de transition, "Métalloïdes", Non métaux, Gaz rares, Lanthanides, Transuranniens, Radioactif et artificiel, Coax, Liquide

Ainsi, les noyaux légers sont stables lorsque leur noyau possède le même nombre de protons et de neutrons. Pour les noyaux plus lourds, leur stabilité n'est garantie que si le nombre de neutrons est une fois et demi supérieur au nombre de protons : les premiers compensent ainsi les répulsions électrostatiques des derniers.

Pour les noyaux dont le nombre de protons est pair, leur stabilité est accrue et elle est augmentée si ce nombre est multiple de 4. Les noyaux dont le nombre atomique se rapproche de celui du fer ( $Z = 26$ ) sont de moins en moins stables et au-delà du plomb ( $Z = 82$ ), les éléments sont tous instables (avec des durées de vie pouvant cependant atteindre des milliards d'années !). Lorsque les noyaux se situent en dessous de la zone de stabilité, cela veut dire qu'ils possèdent trop de neutrons. Pour revenir dans la zone de stabilité ils doivent donc transformer ces neutrons en protons (désintégration  $\beta^-$ ). Au-dessus de cette zone de stabilité, les noyaux possèdent trop de protons qu'ils doivent transformer en neutrons (désintégration  $\beta^+$ ) pour gagner en stabilité. La désintégration  $\alpha$  est elle observée essentiellement pour les atomes lourds.

**ÉNERGIES DE LIAISON ET STABILITÉ D'UN NOYAU**

L'énergie de liaison est fonction de la taille et de la masse d'un noyau. De plus, elle renseigne sur sa stabilité : plus l'énergie de liaison est forte, plus le noyau est stable. Elle correspond à l'énergie nécessaire à la séparation des éléments d'un noyau.

Ainsi la formation de noyaux stables à partir de noyaux instables correspond à une libération d'énergie de liaison. Celle-ci peut être libérée au cours de deux types de réactions nucléaires :

- la fission nucléaire qui correspond à la formation d'atomes plus légers à partir d'un atome lourd et s'accompagne d'un dégagement d'énergie.
- la fusion nucléaire qui correspond à la formation d'un élément chimique à partir des éléments séparés qui le composent (protons, neutrons, électrons). Dans les deux cas, l'énergie dégagée correspond à la différence d'énergie de liaison des réactifs moins celle des produits de la réaction.

**HISTOIRE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES**

Les éléments chimiques qui constituent la matière physique nous environnant ont toujours été sujets à la classification. Dans l'Antiquité, cette classification des éléments regroupait quatre grandes familles : l'eau, l'air, la terre et le feu. Mais progressivement, cette théorie fut fragilisée par le développement des connaissances et des méthodes expérimentales, pour finalement être abandonnée.

Au  $19^{\text{e}}$  siècle le nombre croissant d'éléments découverts et de leurs propriétés respectives pousse les chimistes à chercher de nouvelles méthodes de classement et d'organisation. Dmitri Ivanovitch Mendeleïev, alors professeur à

l'Université de Saint-Petersbourg, a l'idée de classer les éléments chimiques en fonction de leur masse puis en fonction de leurs propriétés. Ainsi il mettra en évidence une périodicité des propriétés chimiques des éléments au



fur et à mesure que leurs masses augmentent. À l'époque, pour respecter cette périodicité, Mendeleïev laisse des cases vides dans son tableau correspondant à des éléments qui devaient être, et seront effectivement, découverts ultérieurement. Controversée, cette classification sera progressivement reconnue au fur et à mesure que les nouveaux éléments découverts y trouveront leur place.

**LE TABLEAU DE MENDELEÏEV**

Le tableau de Mendeleïev, ou la classification périodique des éléments chimiques, est la représentation usuelle des divers éléments chimiques. Le nombre de protons détermine le nom de l'élément chimique : pour dénommer un atome, quel qu'il soit, on lui donne le nom de l'élément ayant le même nombre de protons.

Il est dit périodique car il correspond à un classement des éléments obéissant à des périodes : tous les éléments d'une même colonne présentent des propriétés chimiques très proches, voire identiques. Cette homogénéité au sein d'un même groupe d'éléments est une conséquence directe du nombre d'électrons qui composent les couches externes des atomes : ces électrons gouvernent fréquemment le comportement de l'élément. Ceci s'explique par le fait que ces électrons sont les moins liés au noyau et donc les plus disponibles pour interagir avec des éléments extérieurs.

Dans le tableau périodique, les éléments sont classés suivant des lignes et des colonnes. Le tableau possède sept lignes appelées périodes et dix-huit

colonnes appelées groupes. Suivant les lignes, les éléments sont classés par ordre croissant de masse atomique. Les colonnes, elles, réunissent les éléments chimiques possédant le même nombre d'électrons sur la couche externe.

**NOMENCLATURE**

Les éléments chimiques sont généralement, et particulièrement dans la classification de Mendeleïev, symbolisés comme suit :  ${}^Z_X$  où X est le nom de l'élément. A le nombre de masse (il correspond au nombre total de nucléons, soit la somme des protons et des neutrons) et Z le nombre de charges ou numéro atomique (il correspond au nombre de protons). Le nombre de charges Z correspond également au nombre d'électrons lorsque l'élément est sous une forme électriquement neutre. Prenons l'exemple des isotopes de l'hydrogène. L'atome d'hydrogène comporte un seul proton et un électron. Ainsi, il se note :  ${}^1_1\text{H}$ .

Le deutérium, isotope de l'hydrogène, comporte un proton et un neutron, ainsi qu'un électron. Il se note donc :  ${}^2_1\text{H}$ .

Le tritium, un autre isotope de l'hydrogène, comporte un proton et deux neutrons, ainsi qu'un électron. Il se note :  ${}^3_1\text{H}$ .

Pour les nouveaux éléments, artificiels, plus lourds et généralement instables, l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (IUPAC) se charge de les nommer, en général à partir du nom de leur découvreur, éventuellement suivant le nom du laboratoire. Les noms d'éléments chimiques stables sont antérieurs à leur découverte et sont généralement puisés dans les diverses mythologies, la géographie, leur couleur ou les noms de leur découvreur ou d'un scientifique célèbre.

**LES FAMILLES D'ÉLÉMENTS**

Les éléments chimiques sont traditionnellement groupés en 9 familles principales.

**Les métaux vrais**

Les métaux vrais comprennent les alcalins (première colonne du tableau,

excepté l'hydrogène) et les alcalino-terreux (deuxième colonne). Leur couche électronique externe comporte un ou deux électrons. Propriétés générales : ils sont de couleur argentée et présentent de faibles densités. Ils réagissent aisément avec les halogènes et l'eau.

- Les alcalins : ce sont les éléments de la première colonne de gauche. Ils sont appelés ainsi en raison d'une forte réaction en présence d'eau. Propriétés : ce sont des métaux mous et légers, inexistant à l'état libre, conducteurs, ayant un point de fusion élevé, présentant une grande réactivité avec les non-métaux et l'eau.
- Les alcalino-terreux : ainsi nommés parce qu'ils entrent dans la composition de nombreuses roches et présentent en solution des propriétés alcalines. Propriétés : ce sont des solides gris métallique, conducteurs, plus durs que les alcalins et avec un point de fusion plus élevé.

**Les lanthanides**

Ils sont aussi appelés terres rares, bien qu'ils soient pour la plupart relativement abondants. Leur numéro atomique est compris entre 57 et 70. Propriétés : ils sont très difficiles à séparer.

**Les actinides**

Ils possèdent des caractéristiques proches de celles des lanthanides. Les actinides avec un numéro atomique élevé n'existent pas à l'état naturel et possèdent une durée de vie très courte. Leur numéro atomique est compris entre 89 et 102.

**Les métaux de transition**

Ces éléments tiennent leur nom de leur position dans le tableau périodique : ils sont situés entre la colonne 2 (métaux) et la colonne 13 (non-métaux). Propriétés : en général une forte densité, ils forment des composés colorés, possèdent de nombreux états d'oxydation, ce sont de bons catalyseurs, et ils peuvent former des complexes.

**Les métaux pauvres**

Les métaux pauvres sont les éléments chimiques métalliques qui, dans le

tableau périodique des éléments, sont adjacents aux métalloïdes. Propriétés : ils ont tendance à être mous avec un point de fusion bas.

**Les métalloïdes**

Ce sont des éléments dont les propriétés sont intermédiaires entre les métaux et les non-métaux. Ils sont généralement des semi-conducteurs. Originellement les métalloïdes désignaient tout élément chimique non-métallique.

**Les non-métaux**

Les non-métaux ne constituent pas un groupe précis : ils s'étalent sur plusieurs colonnes. Ce sont le carbone, l'azote, l'oxygène, le phosphore, le soufre et le sélénium. Ce sont des éléments non métalliques n'appartenant ni aux halogènes ni aux gaz rares. Propriétés : ils conduisent mal l'électricité ainsi que la chaleur, ne sont ni malléables ni ductiles ; ils forment des liaisons ioniques avec les métaux.

**Les halogènes**

Ils se trouvent sous forme de sel à l'état naturel. Ils possèdent sept électrons sur leur couche externe et sont situés dans la colonne 17 du tableau : le fluor, le chlore, le brome, l'iode et l'astate. On les trouve dans la nature sous forme de molécules diatomiques. Leur configuration la plus stable est atteinte lorsqu'ils captent un électron : ils sont alors ionisés négativement et forment ce que l'on appelle les ions halogénures. Propriétés : non-métalliques, très réactifs, ils forment des acides forts avec l'hydrogène.

**Les gaz rares**

Ils sont aussi connus sous le nom de gaz nobles ou inertes : hélium, néon, argon, krypton, xénon et radon. Leur particularité est qu'ils sont stables et très peu actifs du fait de leur couche externe complète. Cette couche saturée en électrons et très stable n'offre quasiment pas de possibilités de liaison entre atomes. Propriétés : incolores, gazeux, absence ou presque de réactivité chimique.